



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

**REGULACE POLOHY MÍČKU POMOCÍ PROUDĚNÍ
VZDUCHU S VYUŽITÍM PLC**

BALL POSITION CONTROL WITH AIRFLOW USING PLC

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Michal Hubálek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. et Ing. Stanislav Lang, Ph.D.

BRNO 2019

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automatizace a informatiky
Student: **Michal Hubálek**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Aplikovaná informatika a řízení
Vedoucí práce: **Ing. et Ing. Stanislav Lang, Ph.D.**
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Regulace polohy míčku pomocí proudění vzduchu s využitím PLC

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Těžiště práce leží v realizační části, jelikož cílem je vytvoření nové laboratorní úlohy do předmětu Vyšší formy řízení. Pomocí regulace intenzity proudění vzduchu bude regulována poloha míčku v průhledné trubici. Samotné řízení polohy bude realizováno pomocí programovatelného automatu B&R Automation.

Cíle bakalářské práce:

Stručná rešerše v oblasti programovatelných automatů.
Stručná rešerše v oblasti snímačů polohy.
Mechanická realizace laboratorní úlohy.
Programová realizace řízení soustavy.
Vypracování stručného návodu k úloze.

Seznam doporučené literatury:

ŠVARC, Ivan, Miloš ŠEDA a Miluše VÍTEČKOVÁ. Automatické řízení. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. ISBN 978-80-214-3491-2.

NĚMEC, Zdeněk. Prostředky automatického řízení. Brno: FSI VUT, 2008.

B&R Automation [online]. [cit. 2018-09-10]. Dostupné z: <http://www.br-automation.com/>.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Radomil Matoušek, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá návrhem a výrobou výukového modelu vzduchové levitace a jeho následnou regulací. V teoretické části je uveden popis a princip programovatelného automatu firmy B&R Automation. V další části jsou popsány způsoby měření vzdálenosti. Hlavní částí práce byla konstrukce celé mechanické části. Dále pak návrh komunikační jednotky, elektroniky a kabeláže pro propojení modelu s programovatelným automatem. Finálním výstupem je funkční model vzduchové levitace a stručný návod pro výuku předmětu.

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the design of an educational model of air levitation and regulation. The theoretical part introduces the principle of the programmable logic controller of the company B&R Automation. In the next part, methods of measuring distance were described. The main part of the work was the construction of the whole mechanical part. Furthermore, the design of electronics and cabling to connect the model with a programmable controller. The final output is a functional model of air levitation and a tutorial for the subject.

KLÍČOVÁ SLOVA

Vzduchová levitace, výukový model, regulace, infračervený snímač vzdálenosti, ventilátor, PLC, BR Automation,

KEYWORDS

Air levitation, educational model, regulation, infrared distance sensor, fan, PLC, BR Automation

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HUBÁLEK, Michal. *Regulace polohy míčku pomocí proudění vzduchu s využitím PLC*. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/116946>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automatizace a informatiky. Vedoucí práce Stanislav Lang.

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji svému vedoucímu Ing. et Ing. Stanislavu Langovi, Ph.D za věnovaný čas, ochotu a pomoc při zpracování bakalářské práce. Dále patří díky mé rodině a přátelům za podporu.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. et Ing. Stanislava Langa, Ph.D a s použitím literatury uvedené v seznamu literatury.

V Brně dne 23.5. 2019

.....

Michal Hubálek

OBSAH

1	ÚVOD.....	15
2	PROGRAMOVATELNÉ AUTOMATY	17
2.1	Princip PLC	17
2.2	Digitální vstupy a výstupy	18
2.3	Analogové vstupy a výstupy	18
2.4	Způsob programování	18
3	SPOLEČNOST B&R AUTOMATION	21
3.1	Programovatelné automaty B&R.....	21
3.2	Automation Studio.....	21
4	SNÍMAČE.....	23
4.1	Snímače vzdálenosti	23
4.2	Měření krátké vzdálenosti	23
4.2.1	Indukční snímače	23
4.2.2	Kapacitní snímače.....	24
4.3	Měření střední a dlouhé vzdálenosti	24
4.3.1	Ultrazvukové snímače	24
4.3.2	Infračervené snímače	25
4.3.3	Laserové snímače	26
5	KONSTRUKCE MODELU	27
5.1	Mechanické části	28
5.1.1	Míček	28
5.1.2	Trubice	28
5.1.3	Box.....	28
5.1.4	Držák trubice	28
5.1.5	Usměrňovací kužel	28
5.1.6	Přepážka pro narušení toku vzduchu	29
5.1.7	Umístění snímače a ventilátoru	29
5.2	Ventilátor	30
5.2.1	Pulzně šířková modulace	30
5.3	Infračervený snímač měření vzdálenosti	31
5.3.1	Nelineární charakteristika snímače vzdálenosti na výstupním napětí	31
5.3.2	Převodní charakteristika	32
5.4	Laboratorní zdroj	33
5.5	Elektronika.....	33
5.5.1	Funkce zapojení elektroniky	34
5.5.2	Schéma zapojení	34
5.6	PLC	35
5.6.1	Zapojení PLC.....	36
6	REGULACE.....	37
6.1	Dvoupolohová regulace	37
6.2	Spojité regulace	37
6.3	Výsledek regulace.....	38
7	ZÁVĚR	39
8	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	41

9	SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ.....	43
10	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	44
11	SEZNAM PŘÍLOH.....	45

1 ÚVOD

Cílem této bakalářské práce je vytvoření výukového laboratorního modelu do předmětu Vyšší formy řízení (FSI-VVF). Jedná se o model vzduchové levitace, ve kterém je regulována poloha pingpongového míčku. Míček je udržován pomocí proudění vzduchu v určité výšce zvolené uživatelem. Model se skládá z transparentní trubice, kde v dolní části je umístěn snímač pro měření vzdálenosti. Proud vzduchu je tvořen pomocí ventilátoru s možností regulace otáček. Celé řízení polohy míčku je vytvořeno s využitím programovatelného automatu firmy B&R Automation.

V teoretické části je popsáno fungování a princip programovatelných automatů. Následuje bližší popis programovatelných automatů firmy B&R Automation. Další částí je stručný výčet, jak měřit vzdálenost, a výběr vhodného způsobu měření vzdálenosti pro tuto aplikaci.

Dalším bodem je vytvoření názorného postupu, jak model ovládat a regulovat. Studentům je pomocí vytvořeného návodu přiblížena funkce regulované soustavy a způsob programování v prostředí počítačové aplikace Automation Studio, které se používá pro ovládání programovatelných automatů od firmy B&R Automation.

2 PROGRAMOVATELNÉ AUTOMATY

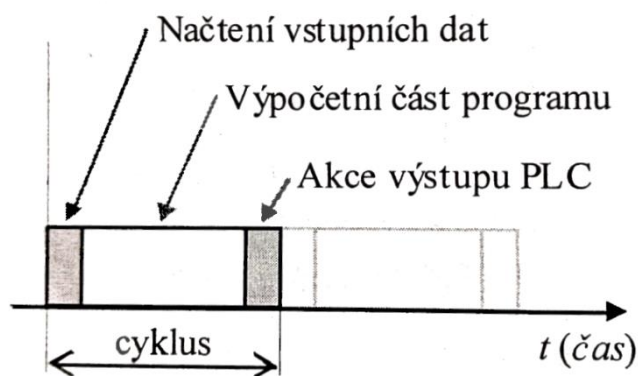
Pomocí programovatelných automatů se řídí různé průmyslové a technologické systémy a procesy, a to v reálném čase. Programovatelné automaty (PA) jsou také známy pod zkratkou PLC (Programmable Logic Controller). V dnešní době je využití PA širší, než bylo dříve, a proto se zavádí zkratka PAC (Programmable Automation Controller), která více vystihuje přiblížení PA k funkcionalitě počítače (PC). Zkratka PLC je zavedený pojem, proto se i dnes používá pro označování automatů typu PAC. [1]

2.1 Princip PLC

Programovatelný automat má výpočetní výkon díky centrální výpočetní jednotce (central processing unit, CPU). Systémová paměť se dělí na dva dílčí celky. První se nazývá *systémová paměť*, kde jsou uloženy systémové proměnné, které slouží pro chod PLC, jako například čítače, časovače, komunikační registry a jiné systémové proměnné. V druhé části paměti se ukládá samotný uživatelský program pro náplň činnosti PLC. [1]

V každém PLC jsou také obsaženy základní logické operace logického součinu, součtu, negace, ale i složitější operace s čísly. Díky tomu je usnadněné programování a zároveň je zvýšen výkon PLC. [1]

PLC se liší od PC hlavně ve způsobu vykonávání instrukcí. PLC vykonává program cyklicky. To znamená, že je zvoleno časové okno pro vykonání úlohy a dochází k cyklickému opakování. Výhodou je, že nemusíme přistupovat tak často k úlohám, kterým stačí větší časová prodleva k akčnímu zásahu, a naopak pro řízení rychlých dějů je časové okno podstatně kratší. V časovém oknu je potřeba vykonat kromě samotného výpočtu i vstupní a výstupní operace (Obr. 1). [1]



Obrázek 1: Způsob vykonávání programu [5]

Systém vstupů a výstupů je u PLC velmi dobře zpracovaný. Vstupy a výstupy můžeme dělit na digitální a analogové.

2.2 Digitální vstupy a výstupy

Digitální vstupy mohou nabývat právě jedné ze dvou binárních hodnot. Příkladem může být například tlačítko, které může být pouze v poloze zapnuto nebo vypnuto. Digitální výstupy slouží ke spínání LED diod, cívek relé a všude tam, kde může nastat dvouhodnotový stav. [2]

2.3 Analogové vstupy a výstupy

Analogové vstupy a výstupy jsou určeny pro práci se spojitými signály. Analogové vstupy převádí spojitý signál na diskretní vyjádření hodnoty signálu, které dokáže PLC dále zpracovávat. K převodu je využit analogově-digitální převodník. PLC zpracovává převážně základní elektrické veličiny napětí (U) a proud (I). Fyzikální veličiny, které jsou měřeny senzory, jsou převáděny na elektrickou energii a dále zpracovávány. Analogové výstupy převádí diskretní číselnou hodnotu PLC na elektrický analogový signál. Pro napětí se běžně používají hodnoty 0 až 10 V nebo -10 až 10 V. Pro signál proudu se nejvíce využívají hodnoty 4 až 20 mA, 0 až 20 mA, -10 mA až 20 mA. [2]

2.4 Způsob programování

Existují specializované jazyky pro programování PLC, které jsou standardizovány normou IEC EN 61191-3. Tato norma obsahuje 5 programovatelných jazyků, které většinou nejsou navzájem kompatibilní. [1]

Pro programování nejjednodušších logických operací se používá jazyk reléových schémat, Ladder Diagram (LD). Je vhodný pro první seznámení s programováním PLC. [1]

Dalším grafickým programovacím jazykem je jazyk funkčních bloků, také známý jako Function Block Diagram (FBD). Základní logické operace jsou znázorněny obdélníkovými značkami. Hodí se pro jednodušší aplikace a pro uživatele, kteří se setkali s kreslením logických schémat. [1]

Podobný jako jazyk assembler u počítačů je jazyk mnemokódů, Instruction List (IL) u programování PLC. Jedná se o strojově orientovaný jazyk, kde jednotlivý příkaz jazyka odpovídá stejné instrukci v PLC. Využití najde v profesionálním použití. Nevýhodou je požadavek na znalost instrukcí. [1]

Obdobou vyšších programovacích jazyků u počítače je programovací jazyk strukturovaného textu, Structure Text (ST). Pochází z jazyků pascal a C a umožňuje úsporné a přehledné zapisování programu. Jazyk je rozšířen pro běžné programování moderních PLC. [1]

Posledním jazykem ze standardizované normy je jazyk sekvenčního programování, Sequential function Chart (SFC). SFC popisuje řídicí program pomocí specializovaných bloků, které znázorňují značky stavů, přechodů a větvení. Odvozen je ze symboliky Petriho Sítí. [1]

Mimo normu existují další používané programovací jazyky, které jsou bližší běžnému programování u PC. Například v Automation Studio od firmy B&R automation se můžeme setkat s jazykem Automation Basic, ANSI C a C++. [3]

3 SPOLEČNOST B&R AUTOMATION

Celá práce závisí na programovatelném automatu od společnosti B&R automation. Jedná se o rakouskou firmu založenou v roce 1979. Svou podnikatelskou odvahou a předvídavostí se dostala mezi špičku v inovacích a technologických postupech v průmyslu. Jedná se o firmu, která se zabývá automatizační technikou se specializací na systémy řízení strojů a výrobních závodů. Firma nabízí jak komplexní řešení problému, tak jednotlivé komponenty pro řízení, jako jsou programovatelné automaty, průmyslové PC, systémy vstupů a výstupů. [4]

3.1 Programovatelné automaty B&R

Přednost řídicích automatů firmy B&R je v jejich vysoké kompatibilitě a modulárnosti. Existuje velké množství připojitelných modulů, vstupů a výstupů, které se volí podle konkrétní situace. Každý další modul se může připojit k základní desce pomocí univerzálního Slice-based systému. [4]

Programovatelný automat použitý v této bakalářské práci je z řady X20, která je nejvíce rozšířená a díky své modulárnosti se hodí na řízení malých i velkých aplikací. Řada X20c se vyznačuje svojí odolností proti nepříznivému vlivu okolí, a proto se hodí pro aplikace v náročných přírodních podmínkách. [4]

3.2 Automation Studio

Automation Studio je vývojové prostředí, ve kterém lze modelovat a spravovat řízení automatizačních prvků od B&R Automation. Pokud je potřeba vytvořený program předem vyzkoušet, nebo není možnost použít reálné hardwarové zařízení, součástí studia je i simulátor *ARsim*, který simuluje hardware průmyslového automatu. Po vytvoření nového projektu se přidávají moduly, které se po konfiguraci mohou spustit v online režimu nebo v simulaci. [4]

4 SNÍMAČE

Pro pojem snímač se také využívá pojem senzor či detektor. Část senzoru, která je citlivá na měřenou veličinu se označuje jako čidlo. Senzor je funkční prvek, který snímá fyzikální, chemické nebo i biologické hodnoty z měřeného prostředí a převádí je na veličiny elektrického signálu, kterými jsou napětí, proud, kapacita atd. (Obr. 2) Z hlediska přesnosti a spolehlivosti je snímač často nejslabším prvkem, a proto se musí dbát na jeho kvalitu v závislosti na požadavku výsledku měření. [5] [6]



Obrázek 2: Symbolické schéma snímače [6]

4.1 Snímače vzdálenosti

Existuje několik možností měření vzdálenosti, které využívají různé fyzikální principy. Měření vzdálenosti může být rozděleno na dvě hlavní kategorie, a to na kontaktní a na bezkontaktní. Například pro nejjednodušší aplikace je možno použít dotykový lankový senzor s potenciometrem, který převádí změnu pozice na elektrický signál. [7]

Mezi výhody kontaktních senzorů patří nízká pořizovací cena, odolnost a přesnost. Nevýhodou je nutný dotyk s měřeným tělesem a z tohoto důvodu jsou kontaktní snímače pro tuto aplikaci nevhodné a dále je popsáno pouze bezdotykové měření vzdálenosti. [7]

4.2 Měření krátké vzdálenosti

V dnešní době je kladen důraz na bezkontaktnost měření vzdáleností a k tomu existuje několik možností. Pro měření krátké vzdálenosti se používají jiné principy než pro měření na delší vzdálenost.

4.2.1 Indukční snímače

Senzorem na krátkou vzdálenost je Indukční snímač. Umožňuje bezkontaktně měřit přiblížení elektricky vodivých předmětů a dokáže bezchybně dlouhodobě pracovat v náročném prostředí. Aktivním prvkem je cívka, kterou protéká vysokofrekvenční střídavý proud a vytváří magnetické pole. Pokud se do magnetického pole dostane elektricky vodivý prvek, magnetické pole se změní, což způsobí změnu elektrické impedance cívky. Tato změna je vyhodnocena elektronikou a je dále převedena na výstupní signál. Měřitelná vzdálenost v řádech desítek milimetrů je určována s vysokou přesností. [8]

4.2.2 Kapacitní snímače

Další možností, jak měřit bezdotykově na krátkou vzdálenost je použití kapacitního snímače. Na rozdíl od indukčního snímače dokáže měřit vzdálenost i nekovových materiálů. Hlavním prvkem je válcová elektroda a stínění, které vytváří kondenzátor s kapacitou, která se mění podle přiblížení předmětu. Kapacitní sondy dokáží měřit přesně na krátké vzdálenosti několika desítek milimetrů. [8]

4.3 Měření střední a dlouhé vzdálenosti

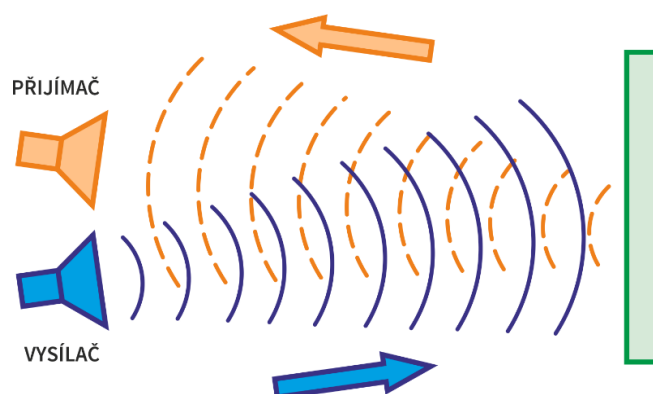
Snímače diskutované v kapitole 4.1 měří pouze na krátkou vzdálenost, která je nedostatečná pro měření míčku v trubici. Tato kapitola je zaměřena na měření střední a větší vzdálenosti, které jsou využitelné v příkladu vzduchové levitace.

Na měření střední a dlouhé vzdálenosti se používá několik principů, níže jsou blíže popsány ultrazvukové infračervené a laserové snímače.

4.3.1 Ultrazvukové snímače

Pod pojmem ultrazvukový snímač se rozumí přístroj, který využívá ultrazvukové vlny. Ultrazvukové vlny patří mezi akustické vlny, která mají frekvenční rozsah nad hranicí lidské slyšitelnosti 20 kHz. Za horní hranici ultrazvuku je považován 1 GHz. Ultrazvukové vlny se mohou šířit pouze hmotou, vzduchoprázdňem se šířit nemohou. Rychlost samotného šíření zvukové vlny závisí na hodnotě teploty, tlaku a vlhkosti prostředí, v němž se zvuk šíří. [5]

Ultrazvukové měření vzdálenosti funguje na principu měření odezvy. Vysláním několika krátkých signálů měničem se začne měřit čas a časovač vyčkává. Po odrazu zvukového signálu od předmětu a návratu zpět na stejné místo se časovač zastaví. Přijatý zvukový signál je následně zesílen pomocí zesilovače na signál, se kterým se dá dále pracovat. Čas od odeslání signálu po opětovné přijetí signálu je měřen pomocnou elektronikou, která zároveň vypočte změřenou vzdálenost (Obr. 3). [5]



Obrázek 3: Princip detekce překážek ultrazvukem [17]

Ultrazvukové snímače patří mezi levnou variantu, jak měřit vzdálenost, a s tím také souvisí jejich zvýšené nároky na měření. Zaměření odrazové plochy musí být kolmé a mezi vysílačem a odrazovou plochou nesmí být žádné překážky. Odrazová plocha musí být větší se zvětšující se vzdáleností od senzoru. [9]

Chování vln v úzké trubici při měření vzdálenosti míčku při vzduchové levitaci by mohlo být ovlivněno odrazem vln od stěn trubice, a proto nebyl ultrazvukový snímač vybrán.

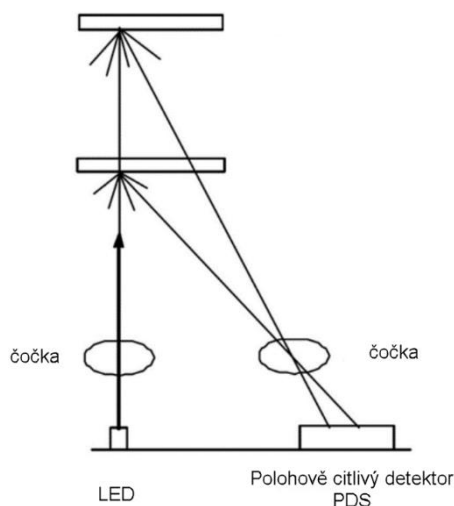
4.3.2 Infračervené snímače

Infračervené senzory využívají infračervené záření (IR). Jedná se o druh elektromagnetického vlnění, které není viditelné lidským okem. Vlnová délka IR spadá do intervalu vlnových délek 700 nm až 1 mm.

Triangulační infračervené snímače

Princip měření vzdálenosti je založen na vyhodnocení úhlu, pod kterým dopadá odražené (IR) (Obr. 4). IR je emitováno Luminiscenční diodou LED a je pomocí čočky usměrněno do úzkého paprsku. Po odražení IR od předmětu je přijato fotocitlivým odporem. [5]

Kolik IR dopadne závisí na úhlu dopadu IR do senzoru. Čím je předmět dál od senzoru, tím méně se mění úhel dopadu a z toho vyplívá nelineární výstupní charakteristika snímače, více v kapitole 5.3.1 [5]

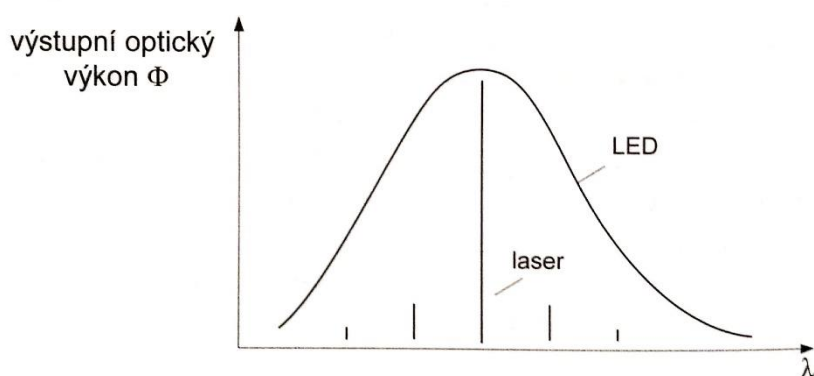


Obrázek 4: Princip triangulace [10]

Měřitelná vzdálenost pomocí infračerveného senzoru je v řádech desítek centimetrů. Oproti ultrazvukovému snímači dokáže lépe snímat měřený předmět a v trubici nedochází k rušení záření. Jedná se o levný senzor s požadovaným rozsahem a dostatečnou přesností, proto byl vybrán pro měření vzdálenosti míčku v úloze vzduchové levitace. [10]

4.3.3 Laserové snímače

Další možností je použít jako vysílací prvek laserovou diodu. Laserem je vytvářeno optické záření, které je oproti infračervené diodě soustředěno do velmi úzkého intervalu vlnových délek λ (Obr. 5). Laserová dioda má vysokou svítivost a malou rozbíhavost paprsku. Při výstupu paprsku z diody se setkáváme s velkou divergencí, která je zapříčiněna difrakcí světelné vlny. To zvětšuje rozbíhavost paprsku až o 50° úhlové délky. Proto se před diodu zařazuje vhodná optická čočka, která paprsek usměrní a výstupem je bodové zaměření na měřeném předmětu. [5]



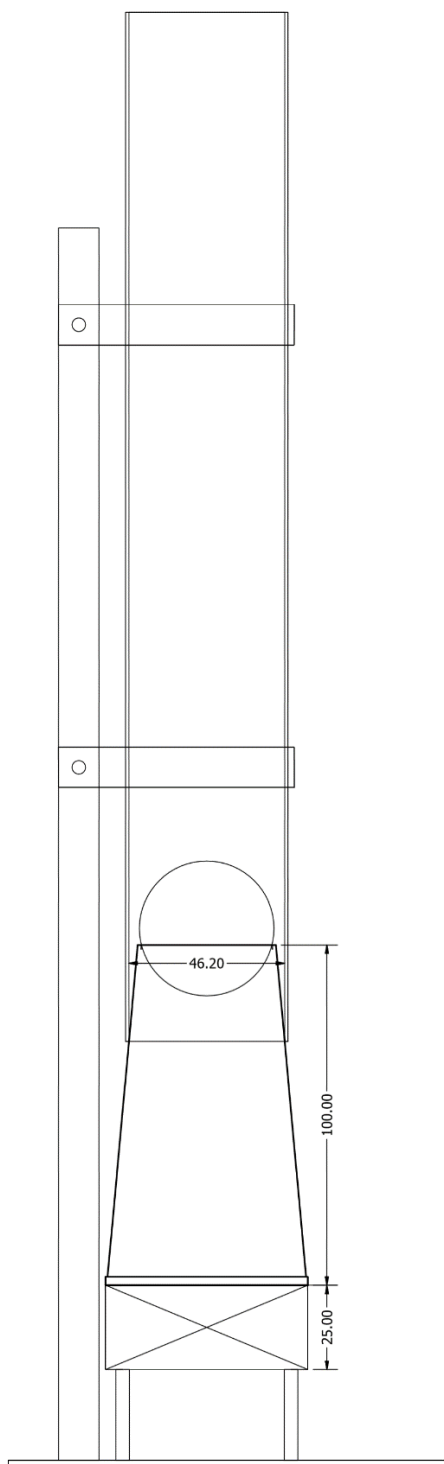
Obrázek 5: Spektrum LED a laseru červené barvy [5]

Laserové senzory se používají jak pro přesné měření řádově v metrech, například ve stavebnictví, tak se laserové senzory mohou použít i pro extrémní měření vzdálenosti jako je například vzdálenost Měsíce od Země. V průmyslové praxi se jedná o přesné a profesionální řešení měření vzdálenosti. Výhodou je univerzálnost použití. [9]

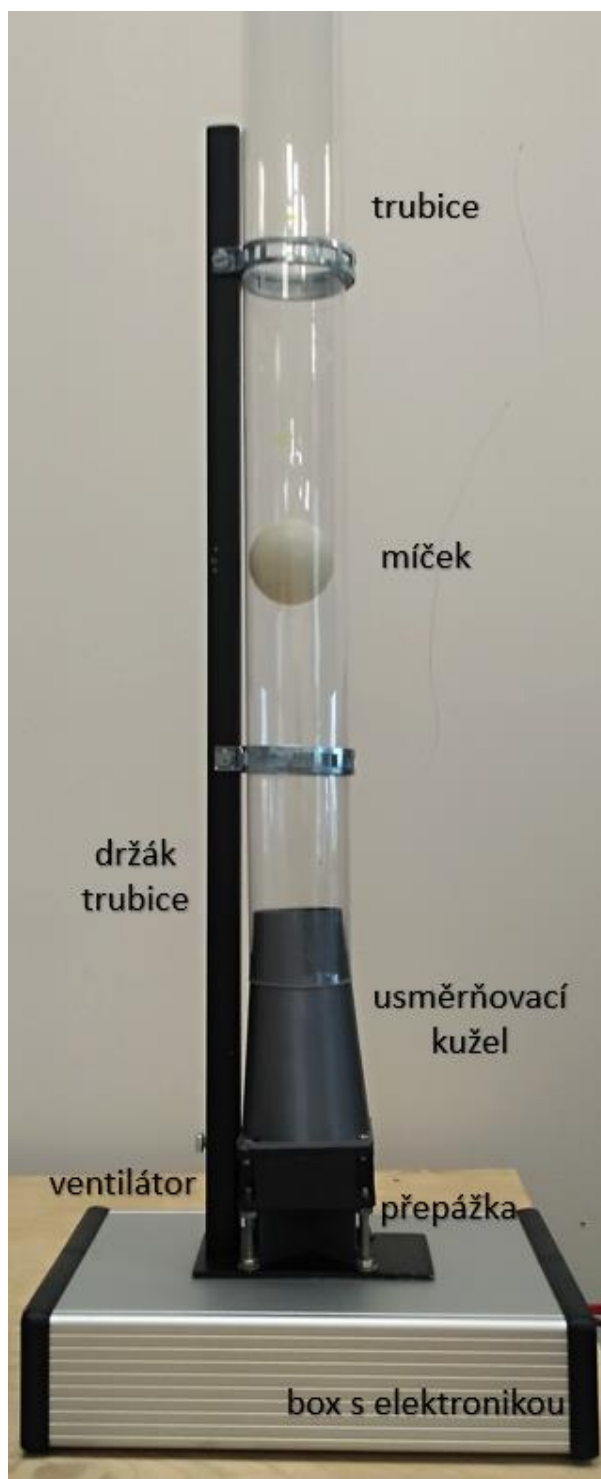
Mezi nevýhodu patří vysoká cena v porovnání například s infračerveným snímačem, který byl nakonec zvolen pro jako vhodný a dostatečný pro úlohu vzduchové levitace.

5 KONSTRUKCE MODELU

Při konstruování modelu vzduchové levitace míčku v trubici byl dáván důraz na jednoduchost výroby s minimálními pořizovacími náklady. Na obrázku č. 6 je schéma návrhu a na obrázku č. 7 se nachází výsledný model vzduchové levitace s popisem jednotlivých částí.



Obrázek 6: Návrh soustavy vzduchové levitace



Obrázek 7: Konstrukce soustavy vzduchové levitace

5.1 Mechanické části

5.1.1 Míček

Levitujícím předmětem v trubici byl zvolen pingpongový míček bílé barvy. Průměr míčku je 40 mm a váha míčku je 2,2 g.

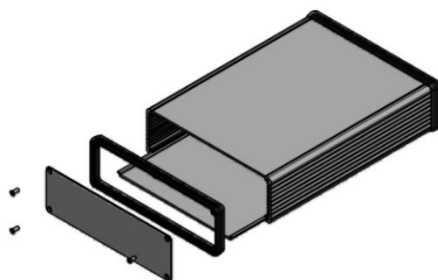
5.1.2 Trubice

V soustavě je použita průhledná trubice zkrácená na délku 85 cm. Vnitřní průměr trubice je 46,2 mm a síla stěny trubice je 0,51 mm. Jedná se o tenkostěnný tubus z materiálu PETG, který je měkký a flexibilní.

5.1.3 Box

Pro sjednocení vizuálního stylu všech již vytvořených laboratorních úloh byl použit hliníkový box, který zvyšuje celkovou stabilitu soustavy a předchází převrhnutí. Uvnitř se nachází elektronická část a je díky tomu krytá před manipulací a poškozením.

Box má rozměry 220x160x51,5 mm a na každé straně jsou dva kryty pro přístup k elektronice (Obr. 8).



Obrázek 8: Uzavření boxu

5.1.4 Držák trubice

Trubice je uchycena pomocí dvou spojek k železné tyči s profilem hranolu. Hranol je dále přimontován k podstavě, která je přišroubována k boxu. Hranol a podstavu je možno rozmontovat na dvě samostatné části. Železná část je povrchově upravena černou barvou.

5.1.5 Usměrňovací kužel

Pro spojení trubice a větráku bylo potřeba vytvořit přechod, který slouží pro usměrnění vzduchu a zajišťuje přechod mezi průměrem ventilátoru a průměrem trubice. Horní průměr kužele je menší než průměr míčku proto, aby míček nemohl dopadnout na senzor a nedocházelo k chybnému měření. Tím je nastavena i počáteční pozice míčku. Přechodový kužel je v dolní části upevněn k ventilátoru a na horní část kuželu je nasazena trubice.

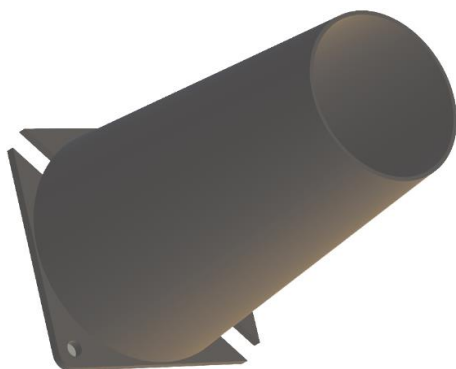
Model usměrňovacího kužele byl vytvořen v modelovacím programu Autodesk Inventor (Obr. 9). Model byl exportován do formátu STL a následně vytištěn metodou

3D tisku na tiskárně Prusa i3 MK3. Typ materiálu je PLA šedé barvy. Tisk trval 4,25 h. V příloze je přiložen model přechodu ve formátu STEP.

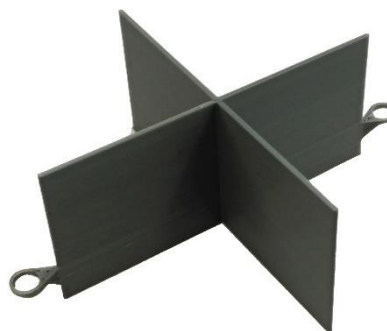
5.1.6 Přepážka pro narušení toku vzduchu

Při realizaci úlohy a při snaze o regulaci se vyskytl problém s nízkým tahem ventilátoru. Docházelo k rotaci vzduchu pod ventilátorem a míček se proto nezvedl z výchozí polohy. Experimentálně bylo zjištěno, že pokud se narušila symetrie toku vzduchu pod ventilátorem, tento problém byl odstraněn.

Pro narušení nežádoucích vlastností toku vzduchu byl vymodelován díl s přepážkami (Obr. 10), které pod ventilátorem vytvoří čtyři komory. Díl byl vytisknut metodou 3D tisku na tiskárně Prusa i3 M K3.



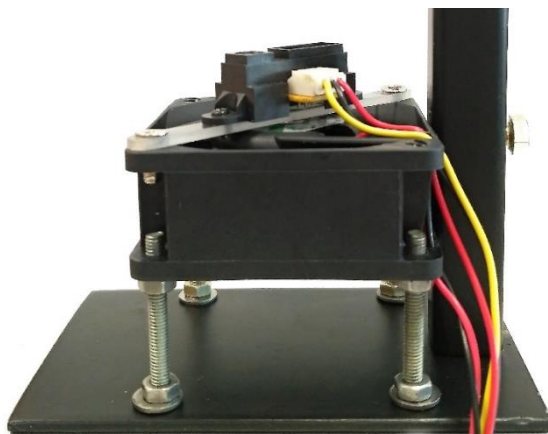
Obrázek 9: Model usměrňovacího kužele



Obrázek 10: Přepážka pro narušení toku vzduchu

5.1.7 Umístění snímače a ventilátoru

Snímač je připevněn na úzké průhledné destičce pomocí dvou šroubů k ventilátoru. Snímač je malých rozměrů a díky tomu může být umístěn ve středu ventilátoru a nepřekáží proudění vzduchu (Obr. 11).



Obrázek 11: Umístění snímače a ventilátoru

Ventilátor je upevněn pomocí čtyř šroubů k základní podstavě tak, aby byl zajištěn dostatečný prostor pro přístup vzduchu k ventilátoru.

5.2 Ventilátor

Ventilátor je stejnosměrný motor s lopatkami, který vytváří v trubici potřebný vztlak. Po experimentálním zjištění nedostatečného výkonu běžného počítačového ventilátoru na 12 V byl pořízen ventilátor na 24 V s vyšší frekvencí otáček. Jedná se o ventilátor firmy SUNON PMD2406PTVX-A, který se také využívá pro chlazení počítačů (Obr. 12).

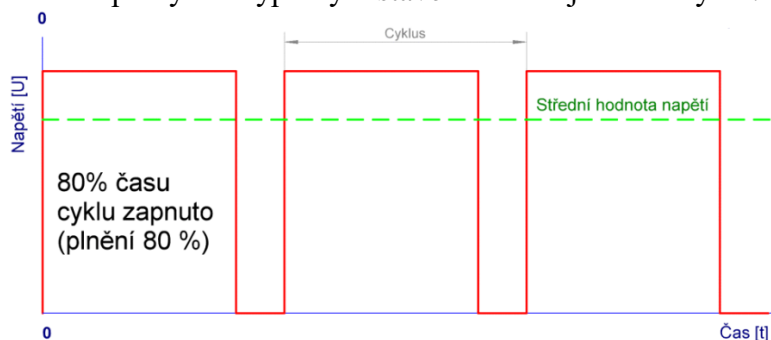
Parametry ventilátoru	
Výrobce	SUNON
Označení	PMD2406PTVX-A
Příkon	5 W
Napájení	24 VDC
Provozní napětí	10-27,6 VDC
Otáčky	7600 RPM
Průtok vzduchu	67,95 m ³ /h
Ložisko	Maglec Vapo
Rozměry	60x60x25 mm

Obrázek 12: Parametry ventilátoru [19]

Existují ventilátory, které mají více přívodních vodičů než dva. Tří pinový ventilátor má kromě napájení ještě jeden vývod pro měření otáček. Vybraný ventilátor má pouze dva přívodní vodiče. Jeden se připojí na zdroj napětí 24 V a druhý se připojí na nulový potenciál. Rychlost otáčení se v tomto případě řídí pomocí softwaru s využitím pulzně šířkové modulace.

5.2.1 Pulzně šířková modulace

Pulzně šířková modulace (Pulse Width Modulation, PWM) je způsob, jak lze pomocí dvoustavové hodnoty regulovat v tomto případě spojitou rychlost otáček ventilátoru. PWM signál může nabývat v amplitudě pouze dvou hodnot, logické jedničky (ventilátor je zapnut), nebo logické nuly (ventilátor je vypnut). Důležité parametry jsou frekvence a střída. Frekvence značí, jak často dochází ke změně stavu a střída znamená jaký je poměr mezi zapnutým a vypnutým stavem během jednoho cyklu. [11]



Obrázek 13: Princip pulzně šířkové modulace

Například pokud chceme střední hodnotu napětí ventilátoru nastavit na 80%, tak doba zapnutí ventilátoru na maximální napětí v jednom cyklu je 80% (Obr. 13).

5.3 Infračervený snímač měření vzdálenosti

Po porovnání jednotlivých snímačů vzdálenosti s přihlédnutím na konkrétní úlohu byl vybrán senzor pro měření vzdálenosti SHARP GP2Y0A21YK0F. Jedná se o infračervený senzor fungující na optoelektrickém principu. Senzor je napájen napětím 5 V a měří v rozsahu 10-80 centimetrů (Obr. 14).

Parametry senzoru	
Výrobce	SHARP
Označení	GP2Y0A21YK0F
Rozsah napětí	4,5-5,5 V
Rozsah měření	10-80 cm
Výstup	Analogový
Rozměry	37x13x13,5 mm

Obrázek 14: Parametry senzoru [18]

5.3.1 Nelineární charakteristika snímače vzdálenosti na výstupním napětí

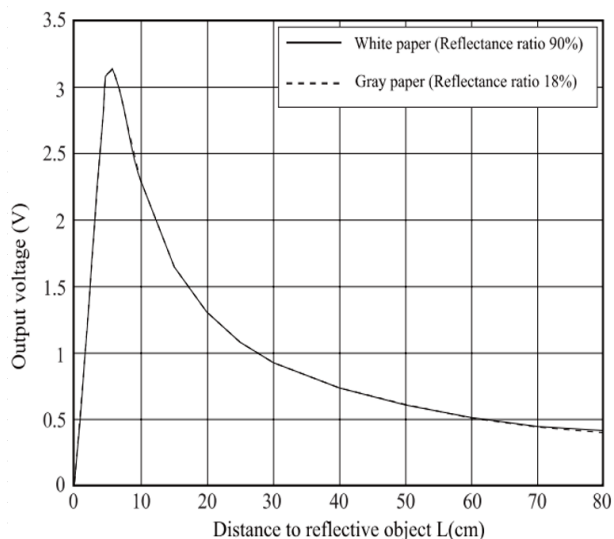
Výstupem ze senzoru vzdálenosti je nelineární charakteristika napětí. To znamená, že velká změna na výstupním napětí neznámá vždy velkou změnu vzdálenosti. Z obrázku č. 14 je patrné, proč byl rozsah omezen od 10 cm do 80 cm. Ve vzdálenosti přibližně 7 cm nastává maximum výstupního napětí na 3,2 V. Do této hodnoty z nulové vzdálenosti napětí strmě roste a docházelo by k nejednoznačnosti měření, protože například pro vzdálenost 2 cm je stejné napětí jako pro vzdálenost 28 cm. Tento problém je vyřešen nastavením výchozí polohy míčku na 7 cm, a proto se míček nemůže dostat do polohy blíže snímači.

Při měření nad 80 cm dochází k malé změně napětí, při velké změně vzdálenosti, proto měřitelný rozsah senzoru je do 80 cm.

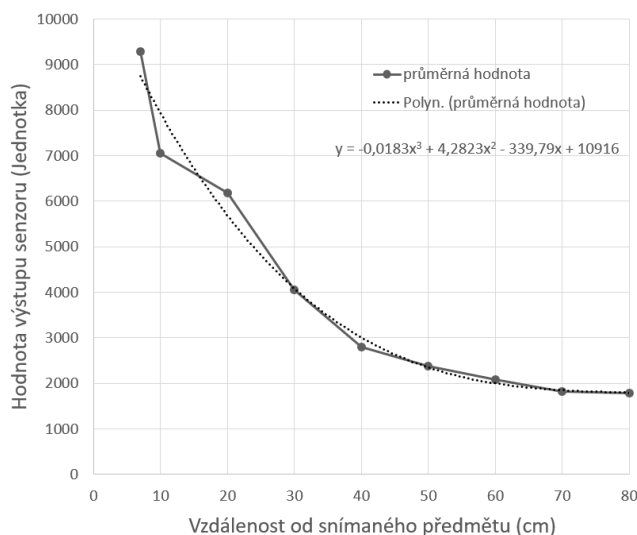
Měření

Hodnota analogového výstupu senzoru je převedena na číselný údaj v PLC, jedná se o číslo v rozsahu 0-10000. Při povoleném rozsahu se číselná hodnota pohybuje od 2000 do 8000.

Bylo provedeno ověření charakteristiky měření senzoru. Měření probíhalo z výchozí polohy 7 cm do 80 cm po 10 cm a míček byl staticky zavěšený v dané poloze. Měření se opakovalo 10x a byla vypočítána průměrná hodnota z 10 měření. Průměrná hodnota byla zanesena do grafu, která tvoří nelineární charakteristiku odpovídající hodnotám z dokumentace (Obr. 15).



Obrázek 15: Průběh měření z dokumentace [18]



Obrázek 16: Průběh měření zjištěný experimentálně

5.3.2 Převodní charakteristika

Pro měření vzdálenosti v centimetrech mezi snímačem a měřeným objektem je třeba vytvořit převodní charakteristiku tak, aby uživatel mohl zadat vzdálenost v centimetrech.

Metoda interpolace

Jedná se o metodu proložení bodů přímkou. Křivka je znázorněna lineárními úseky, které jsou vždy mezi dvěma známými body. Tato metoda není náročná z hlediska výpočetního výkonu, ale je potřeba počítat s určitým zjednodušením křivky.

Metoda proložení křivkou

Další možností může být proložení změřených bodů spojnici trendů. Jedná se o křivku, která se nejvíce podobá potřebné křivce. Můžeme vytvořit například lineární, exponenciální, logaritmickou, nebo polynomickou spojnici trendu. Pomocí Excelu byla vytvořena polynomická spojnice trendu 3. stupně, protože nejvíce odpovídá reálným hodnotám.

$$y = -0,0183x^3 + 4,2823x^2 - 339,79x + 10916$$

Uživatel zadá hodnotu od 10 cm do 80 cm a program vzdálenost v cm přepočítá na číselnou hodnotu pomocí polynomicke spojnice trendu pro PLC. Tato metoda je na výpočet náročnější, ale za to je přesnější pro určení hodnot.

5.4 Laboratorní zdroj

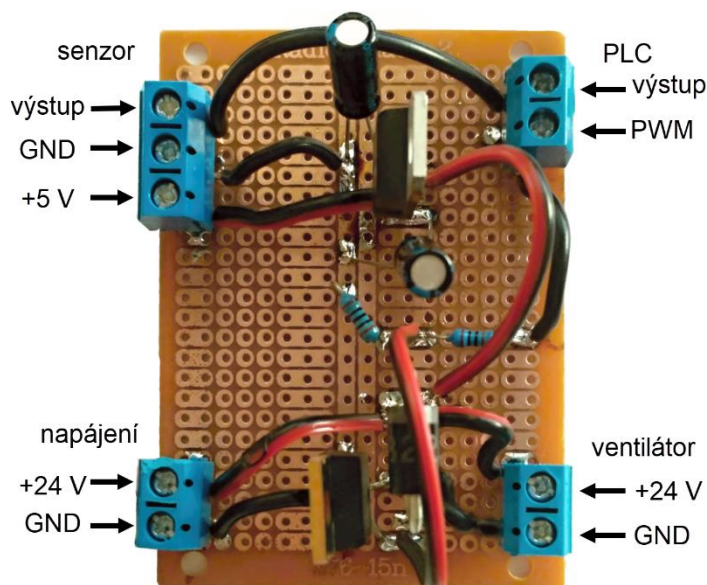
Pro napájení celé soustavy byl použit laboratorní zdroj firmy Voltcraft s označením LSP-1403 Slim-Tower. Výstupní DC napětí může být nastaveno ve třech úrovních 0 až 16 V, 0 až 27 V nebo 0 až 36 V. V těchto rozsazích lze napětí a proud plynule nastavovat a hodnoty jsou zobrazeny na LED duálním displeji. [12]

Pro napájení laboratorní soustavy se využívá napětí 24 V.

5.5 Elektronika

Komunikační jednotka byla vytvořena ze dvou důvodů. Pro stabilizaci PWM signálu a pro převod napětí.

Zapojení elektroniky bylo vytvořeno na prototypové destičce, která je pro tuto laboratorní úlohu dostatečná. Na obrázku č. 17 je naznačeno zapojení senzoru, PLC, ventilátoru a napájení k prototypové destičce, která je umístěna v hliníkovém boxu.



Obrázek 17: Prototypová destička

Níže je uveden popis funkcí zapojení a dále je navržené schéma zapojení a návrh pro případnou výrobu jednostranné destičky plošného spoje.

5.5.1 Funkce zapojení elektroniky

Spínací obvod

Elektronický obvod má v tomto případě ochranou funkci. Protože vysokorychlostní výstup z PLC není stavěný k tomu, aby spínal indukční zátěž. Ventilátor představuje indukční zátěž. Problém nastává při jeho odpojování od zdroje. Indukční zátěž generuje na svých svorkách dočasně napěťovou špičku. Tímto způsobem se vytvoří krátkodobé přepětí, které může poškodit spínací elektroniku. [13]

Z tohoto důvodu je obvod prostřednictvím výkonového unipolárního tranzistoru IRF540N, a dále je paralelně k ventilátoru zapojena nulovací dioda, která svede indukovaný proud a eliminuje napěťové špičky na spínacím prvku (tranzistoru).

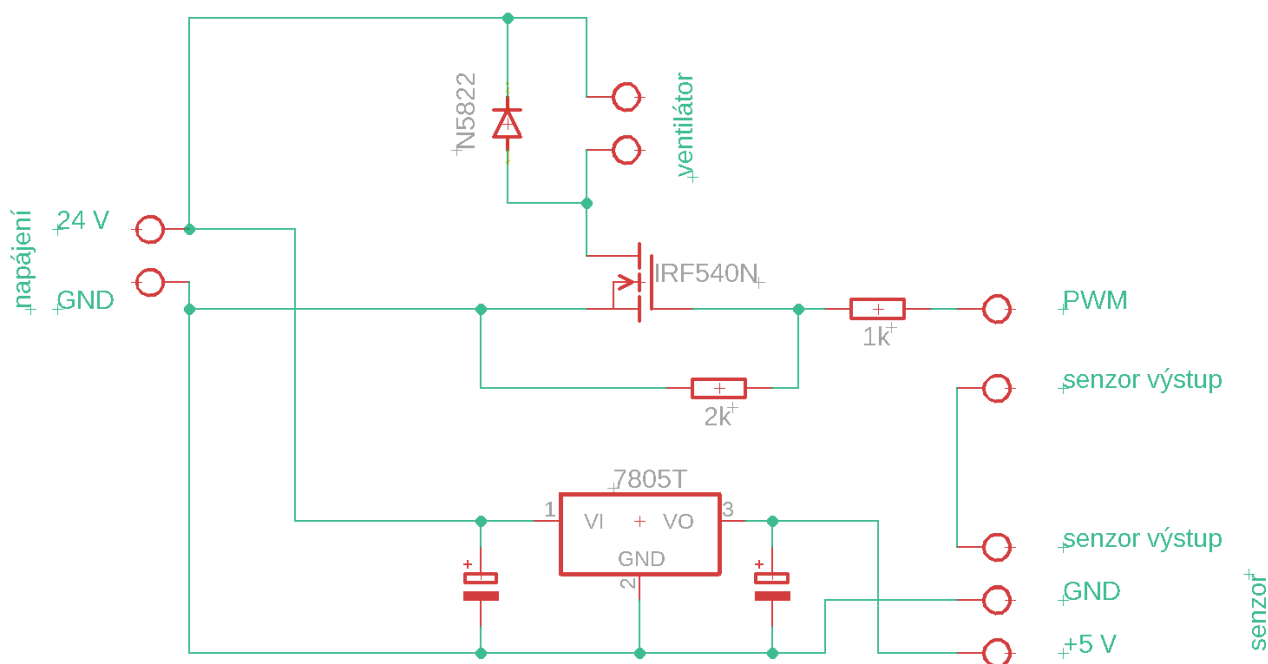
Stabilizace napětí

Senzor vzdálenosti je napájen napětím 5 V, avšak napájení ze zdroje pro PLC poskytuje napětí 24 V. Z toho důvodu bylo vytvořeno zapojení pro převod napětí z 24 V na 5 V. V zapojení je použitý lineární stabilizátor napětí a kondenzátory. Ke stabilizátoru napětí byl přidán hliníkový blok pro chlazení, který odvádí přebytečné teplo.

Při návrhu schéma byl také dáván důraz na to, aby kondenzátory byly umístěny dostatečně daleko od stabilizátoru napětí, protože při působení vysoké teploty mohou elektrolytické kondenzátory degenerovat.

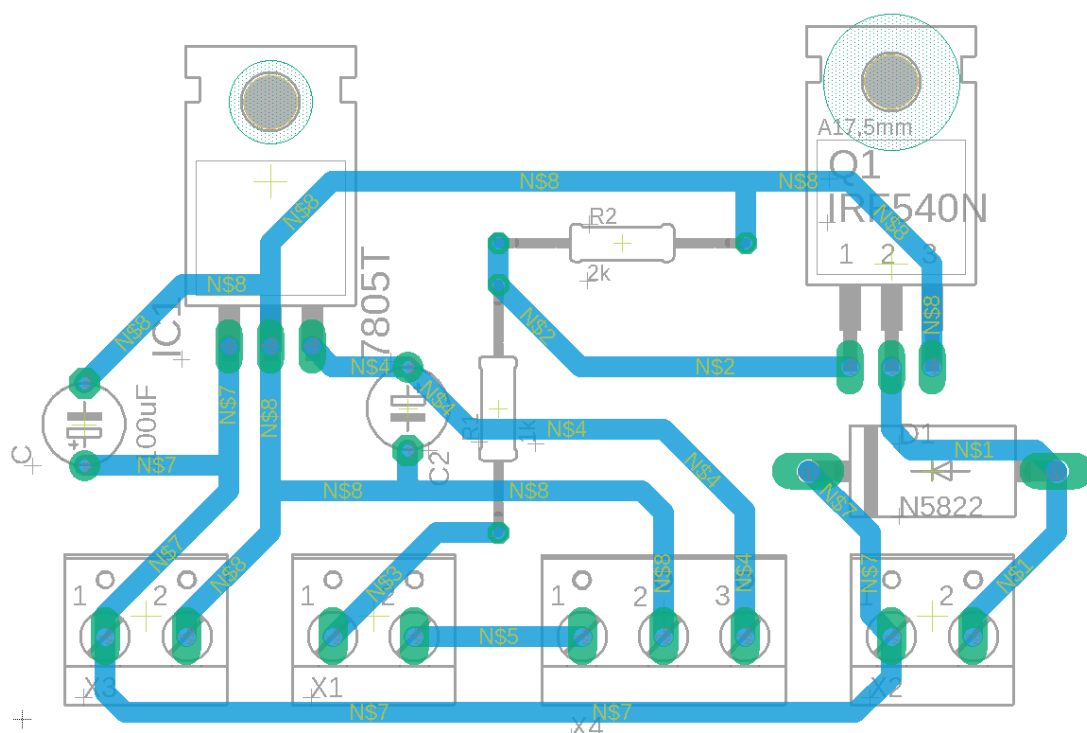
5.5.2 Schéma zapojení

Schéma zapojení bylo navrženo v programu EAGLE. Jedná se o specializovaný program na vytváření elektrických schémat (Obr. 18).



Obrázek 18: Schéma zapojení

Z vytvořeného schématu lze jednoduše ve stejném programu vytvořit návrh na destičku plošných spojů. Jedná se o jednostranný návrh, ze kterého je možno vytvořit destičku plošných spojů (Obr. 19).



Obrázek 19: Návrh pro výrobu plošného spoje

5.6 PLC

Použitý programovatelný automat v této práci má produktové označení X20CP1382-RT firmy B&R automation (Obr. 20). Jedná se o kompaktní programovatelný automat řady X20 a byl vybrán z důvodu tří integrovaných karet vstupů a výstupů X1, X2 a X3. Není potřeba připojovat další kartu se vstupy a výstupy. [14]



Obrázek 20: Programovatelný automat X20CP1382-RT [14]

Zkratka RT za názvem PLC znamená to, že modul obsahuje technologii reACTION, která snižuje dobu odezvy až na 1 mikrosekundu. To je uzpůsobeno díky možnosti spouštět aplikační program přímo na kartě vstupů a výstupů. [15]

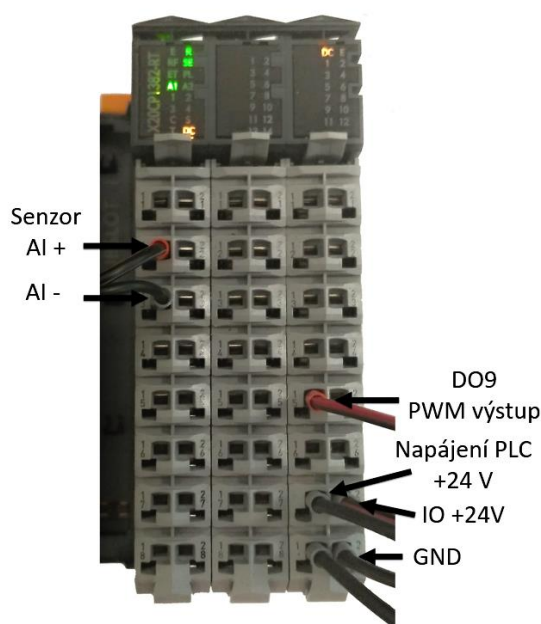
Tato aplikace reACTION technologii nevyužije.

Programovatelný automat je vybaven možnostmi pro komunikaci pomocí připojení Ethernet, POWERLINK, CAN bus, 2x USB a jedním RS232 rozhraním. Pokud je potřeba připojit další možnosti komunikace, není problém připojit přídatný modul z řady X20. Není potřeba baterie pro napájení PLC. [14]

Automat je spojen s počítačem pomocí připojení Ethernet a je potřeba vytvořit spojení pro komunikaci.

5.6.1 Zapojení PLC

Zapojení vzduchové levitace využívá jeden analogový vstup (AI) na integrované kartě X1 pro čtení analogové hodnoty ze senzoru měření vzdálenosti. Analogový vstup je také připojený na zem PLC. Dalším využitým konektorem je digitální vysokorychlostní výstup (DO) na integrované kartě X3, který je nakonfigurován pro přenos PWM signálu a slouží k ovládání výkonu ventilátoru. Hodnota vysokorychlostního výstupu může být nastavena na hodnotu 0 až 1000, což odpovídá 0 až 100 % výkonu. Přes integrovanou kartu X3 je také napájeno samotné PLC, a to napětím 24 V (Obr. 21).

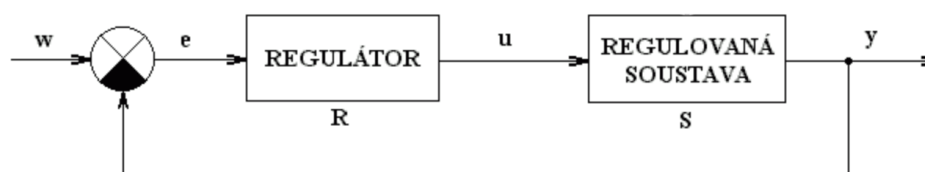


Obrázek 21: Připojení PLC

6 REGULACE

Regulace slouží k dosažení shody mezi žádanou a měřenou hodnotou regulované veličiny a snaží se o její udržení.

Regulační obvod se skládá z regulátoru a regulované soustavy (Obr. 22). Na vstupu se vypočítá odchylka e odečtením měřené hodnoty y od žádané hodnoty w . Podle odchylky je nastavena akční veličina u , která provede akční zásah v regulované soustavě tak, aby výsledná odchylka byla nulová a byl splněn cíl regulace. [16]



Obrázek 22: Regulační obvod [16]

6.1 Dvoupolohová regulace

Dvoupolohová regulace patří mezi běžně používanou a jednoduchou regulaci s nespojitým výstupem. Používá se tam, kde může regulační orgán zaujmout pouze pozice zapnuto nebo vypnuto. Příkladem dvoupolohové regulace je termostat. [6]

Dvoupolohová regulace byla v této úloze použita pro vyzkoušení funkčnosti celé soustavy. Experimentálně byly nastaveny dvě hodnoty výkonu ventilátoru. Při první hodnotě míček stoupá vzhůru a je sepnuta vždy, když je výška míčku pod žádanou hodnotou. Když se míček dostane nad požadovanou hodnotu, výkon se sníží na druhou nižší hodnotu a míček klesne.

Zásadní výhodou je jednoduchost regulace, ale to má za následek nižší kvalitu regulace, kde nemůže dojít k ustálení, protože výška stále kolísá kolem žádané hodnoty.

6.2 Spojitá regulace

Při druhém typu regulace byla snaha o lepší průběh a ustálení regulace. To je uzpůsobeno spojitou změnou střídý PWM pro řízení výkonu ventilátoru. Místo dvou hodnot je výkon plynule volen v závislosti na odchylce.

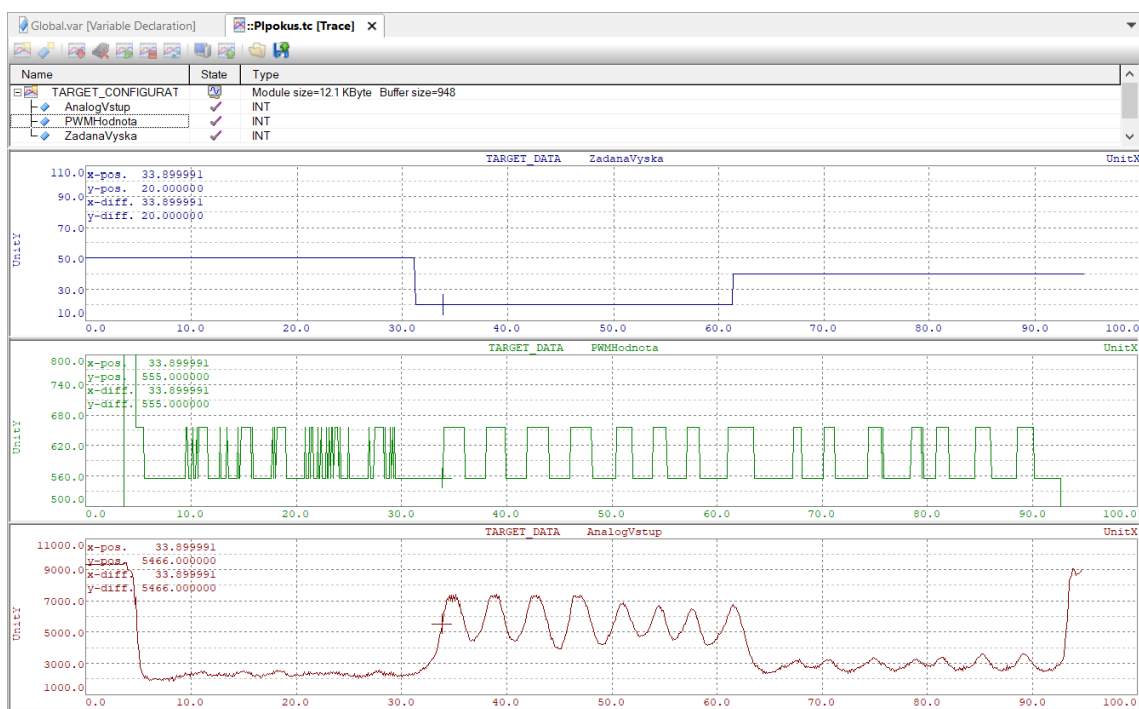
V prostředí Automation Studio se při každém cyklu vypočítá odchylka, která může nabývat hodnoty od -100% do +100%. Jedná se o odchylku vzdálenosti mezi měřenou a žádanou hodnotou výšky míčku. Pokud je měřená a žádaná hodnota shodná, odchylka je nulová a regulace je ustálená. Dále je nastaven rozsah výkonu ventilátoru a střední hodnota střídý, která byla určena výkonem ventilátoru, při kterém míček setrvává ve stejné poloze a nemění svoji výšku.

Samotná regulace probíhá tak, že pokud je odchylka od žádané hodnoty maximální, tak maximální je i výkon ventilátoru. S přiblížením k nulové odchylce klesá výkon a přibližuje se ke střednímu výkonu ventilátoru. Při překmitu míčku nad žádanou hodnotou se výkon ventilátoru zmenší a míček začne klesat.

Výsledkem regulace je při změně žádané veličiny ustálení hodnoty na požadované výšce.

6.3 Výsledek regulace

V prostředí Automation Studio lze pomocí funkce Trace sledovat změnu veličin v průběhu času. Funkce Trace je popsána na obrázku č. 23, kde je znázorněn průběh dvoustavové regulace. V první části grafu je znázorněna změna žádané výšky z 50 cm na 20 cm a nakonec na 40 cm. V druhé části je zobrazena četnost přepínání mezi dvěma hodnotami střídavy ventilátoru. A ve třetí části je sledovaná poloha míčku. Osa y obsahuje výstup jednotek z analogového snímače, který má nelineární charakteristiku, to je důvod zvětšeného zobrazení překmitu při požadované hodnotě 20 cm.



Obrázek 23: Záznam průběhu regulace v prostředí Automation Studio

Výsledná dvoustavová i spojitá regulace je ovlivněna mnoha vnějšími faktory. Například míček mění svojí rotaci a tím mění i obtékání proudu vzduchu kolem míčku. Míček se také chová v dolní části trubice jinak než v horní části a pro každou část stačí jiná hodnota středního výkonu. To způsobuje rozdílné velikosti překmitu v různých výškách. Tyto vlastnosti soustavy mají za následek proměnlivé nastavení výsledné regulace.

7 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo vytvořit výukový model pro regulaci polohy míčku pomocí proudu vzduchu s využitím programovatelného automatu pro předmět Vyšší formy řízení vyučovaný na VUT Brno.

V úvodní teoretické části byl popsán princip PLC a možnosti jeho programování. Dále byla představena firma B&R Automation, její programovatelný automat řady X20 a program Automation Studio. V další části jsou popsány nejčastěji používané snímače pro měření vzdálenosti.

Výstupem z této bakalářské práce je model vzduchové levitace složený z trubice, stojanu pro trubici a boxu ukrývající elektroniku. V dolní části trubice je ventilátor a snímač pro měření výšky pingpongového míčku v trubici. K provozu soustavy je také potřeba PLC firmy B&R Automation a zdroj napájení na 24 V.

Pro měření vzdálenosti byl vybrán infračervený snímač SHARP GP2Y0A21YK0F pro jeho levné pořizovací náklady a dostatečný rozsah pro vzduchovou levitaci. Pro vytváření vztaku v trubici byl vybrán ventilátor SUNON PMD2406PTVX-A, který je napájen napětím 24 V. Tento ventilátor se vyznačuje dostatečným výkonem a ideálními rozměry pro konstrukci výukového modelu. Metodou 3D tisku byl vytvořen kužel pro usměrnění vzduchu a přepážka pro rozrážení vzduchu pod ventilátorem.

Při konstrukci výukového modelu vzduchové levitace byl kladen důraz na jednoduchost a nízké pořizovací náklady celého modelu.

Výstupem této práce je rovněž názorný návod pro ovládání a naprogramování vzduchové levitace uživatelem v prostředí Automation studio pro výuku. Návod je přiložen k práci jako příloha.

8 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ŠVARC, Ivan. *Automatické řízení*. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-214-4398-3.
- [2] PLC automatizace. *Plc-automatizace* [online]. 2019 [cit. 2019-04-08]. Dostupné z: <http://plc-automatizace.cz/>
- [3] Programming. In: *Br-automation.com* [online]. 2019 [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: <https://www.br-automation.com/cs/produkty/software/additional-information/programming/>
- [4] B&R AUTOMATION [online]. 2019 [cit. 2019-03-26]. Dostupné z: <https://www.br-automation.com/cs/perfection-in-automation/>
- [5] MARTINEK, Radislav. *Senzory v průmyslové praxi*. 1. Praha: BEN - technická literatura, 2004. ISBN 80-730-0114-4.
- [6] NĚMEC, Zdeněk. *Prostředky automatického řízení*. Brno, 2008.
- [7] Přesné senzory měření vzdálenosti. *Elektroprůmysl* [online]. b.r. [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: <http://www.elektroprumysl.cz/automatizace/extremne-presne-senzory-mereni-vzdalenosti>
- [8] Automatizace [online]. 2019 [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/>
- [9] Porovnání laserových a ultrazvukových dálkoměrů. *QTest* [online]. c2009-2017 [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: <http://www.qtest.cz/laserove-dalkomery/porovnani-laser-ultrazvuk.htm>
- [10] IR Distance Sensor. *Makerguides.com* [online]. b.r. [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: <https://www.makerguides.com/tutorials/sharp-gp2y0a21yk0f-ir-distance-sensor-arduino/>
- [11] Pulzně šířková modulace [online]. b.r. [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <http://robodoupe.cz/2016/pulzne-sirkova-modulace/>
- [12] Laboratorní zdroj Voltcraft. Voltcraft [online]. b.r. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <http://www.voltcraft.cz/laboratorni-zdroj-lsp-1403-slim-tower-0-az-36-v-5-a.k511632>
- [13] Indukční zátěž. Automatizace [online]. b.r. [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/jak-si-neznicit-rele.html>
- [14] Dokumentace PLC X20CP1382-RT. 2019. Dostupné také z: https://www.br-automation.com/downloads_br_productcatalogue/BRP44400000000000000589398/X20CP13xx-RT-ENG_V1.21.pdf
- [15] ReACTION technologie. *Br-automation* [online]. 2019 [cit. 2019-04-30]. Dostupné z: <https://www.br-automation.com/cs/technologie/reaction-technology/>

- [16] Regulační obvod. In: *VŠB* [online]. b.r. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <http://books.fs.vsb.cz/SyntezaReg/text02.htm>
- [17] Princip detekce překážek ultrazvukem. In: *Nejen o robotice* [online]. 2018 [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <http://robodoupe.cz/2018/microbit-a-sonar/>
- [18] Dokumentace senzoru SHARP GP2Y0A21YK0F. b.r. *Dostupné také z:* http://www.sharp-world.com/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/gp2y0a21yk_e.pdf
- [19] Dokumentace ventilátoru SUNON PMD2406PTVX-A. 2005. *Dostupné také z:* <https://www.gme.cz/data/attachments/dsh.625-318.1.pdf>

9 SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ

A	jednotka proudu Ampér
AI	analogový vstup
CPU	výpočetní jednotka
DO	digitální výstup
e	odchylka
FBD	jazyk funkčního blokového schématu, function block diagram
GND	ground, uzemnění
Hz	jednotka frekvence hertz
I	elektrická veličina proud
IL	jazyk seznamu instrukcí, instruction list
IR	infračervené světlo
LD	jazyk příčkového diagramu, ladder diagram
LED	luminiscenční dioda
PC	počítač
PLC	programovatelný automat
PWM	pulzně šířková modulace
RPM	otáček za minutu
SFC	sekvenční funkční diagram, sequential function chart
ST	jazyk strukturovaného textu, structure text
U	elektrická veličina napětí
V	jednotka napětí Volt
VDC	odznačení pro stejnosměrný proud
W	jednotka výkonu Watt
w	žádaná hodnota
y	aktuální hodnota
λ	vlnová délka

10 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Způsob vykonávání programu [5].....	17
Obrázek 2: Symbolické schéma snímače [6].....	23
Obrázek 3: Princip detekce překážek ultrazvukem [17].....	24
Obrázek 4: Princip triangulace [10]	25
Obrázek 5: Spektrum LED a laseru červené barvy [5].....	26
Obrázek 6: Návrh soustavy vzduchové levitace.....	27
Obrázek 7: Konstrukce soustavy vzduchové levitace	27
Obrázek 8: Uzavření boxu.....	28
Obrázek 9: Model usměrňovacího kužele	29
Obrázek 10: Přepážka pro narušení toku vzduchu	29
Obrázek 11: Umístění snímače a ventilátoru.....	29
Obrázek 12: Parametry ventilátoru [19]	30
Obrázek 13: Princip pulzně šířkové modulace	30
Obrázek 14: Parametry senzoru [18].....	31
Obrázek 15: Průběh měření z dokumentace [18]	32
Obrázek 16: Průběh měření zjištěný experimentálně	32
Obrázek 17: Prototypová destička.....	33
Obrázek 18: Schéma zapojení	34
Obrázek 19: Návrh pro výrobu plošného spoje.....	35
Obrázek 20: Programovatelný automat X20CP1832-RT [14]	35
Obrázek 21: Připojení PLC	36
Obrázek 22: Regulační obvod [16].....	37
Obrázek 23: Záznam průběhu regulace v prostředí Automation Studio	38

11 SEZNAM PŘÍLOH

Návod k laboratorní úloze
CD

Návod k laboratorní úloze:

REGULACE POLOHY MÍČKU POMOCÍ PROUDĚNÍ VZDUCHU S VYUŽITÍM PLC

- **Popis úlohy**

V úloze se student seznámí v programovatelném prostředí Automation Studio s úlohou vzduchové levitace. Jedná se o úlohu, kde se pomocí výkonu ventilátoru reguluje výška míčku, která je snímána infračerveným senzorem. Student má za úkol seznámit se s prostředím Automation Studio a zprovoznit laboratorní úlohu, naprogramovat jednoduchou regulaci a ověřit její funkčnost.

- **Seznam použitých komponentů**

Model vzduchové levice – míček, trubice, podpora trubice, kužel pro usměrnění vzduchu, přepážka pro rozrážení vzduchu, box s elektronikou, ventilátor, infračervený snímač.

PLC X20CP1382-RT nebo podobný

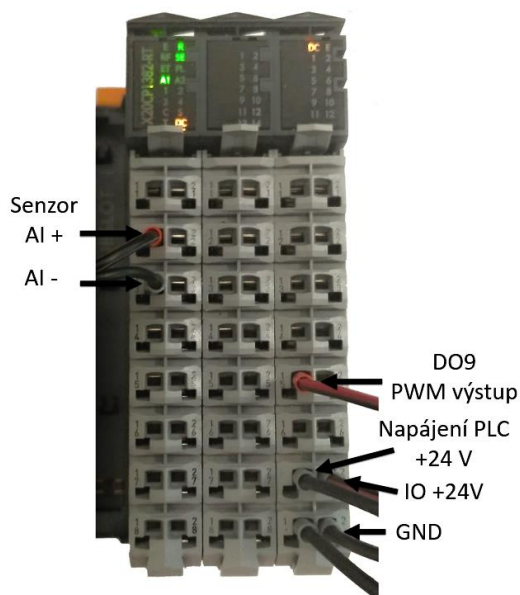
Zdroj napětí Voltcraft LSP-1403 Slim-Tower nebo podobný

PC s programem Automation Studio

- **Zapojení soustavy**

Zapojení PLC

Zkontrolujte správnost zapojení PLC podle obrázku.



Zapojení Zdroje

Po zapojení do sítě zapněte tlačítko **POWER** (1.). Dalším krokem je zkontrolování, zda v obdélníku, který je označen nápisem **RANGE** je zapnutý rozsah 27 V (2.). Hodnota na obrazovce má být přibližně 24 V. Posledním bodem je zapnutí **OUTPUT ON** (3.).

- **Automation studio-konfigurace**

Založení projektu

Po spuštění programu Automation Studio klikneme na **File>New Project**, pojmenujeme projekt a vybereme místo uložení. Po kliknutí **Next** pojmenujeme konfiguraci a dále vybereme použité PLC typu **X20CP1382-RT**. Zatrhneme položku **Active Simulation** pro případnou simulaci. Po kliknutí na **Finish** se nám zobrazí prostředí Automation Studia.

Online spojení

Pro komunikaci PC s PLC je potřeba vytvořit online spojení. V záložce **Physical View** klikneme pravým tlačítkem na **ETH** a dále na **Configuration**. Zde změníme **Mode** na **enter IP address manually** a nastavíme IP adresu a masku podsítě.

Pro komunikaci musí být nastavena IP adresa komunikace sítě ve Windows v *Centrum síťových připojení a sdílení* po kliknutí na **Ethernet>Vlastnosti>Protokol IP v 4**.

V záložce **Online>Settings** klikneme na tlačítko **Browse**. Poté nastavte **Destination IP address** na stejnou IP adresu jako je nastaven ethernet.

Příklad konfigurace:

Nastavení PLC	Nastavení PC
IP adresa: 10.0.0.10	IP adresa: 10.0.0.50
Maska: 255.255.255.0	Maska: 255.255.255.0

Pokud se připojení zdaří, v pravém dolním rohu se obrazí parametry připojení zelené **RUN**. V tomto stavu lze nahrát program do PLC a lze s ním komunikovat.

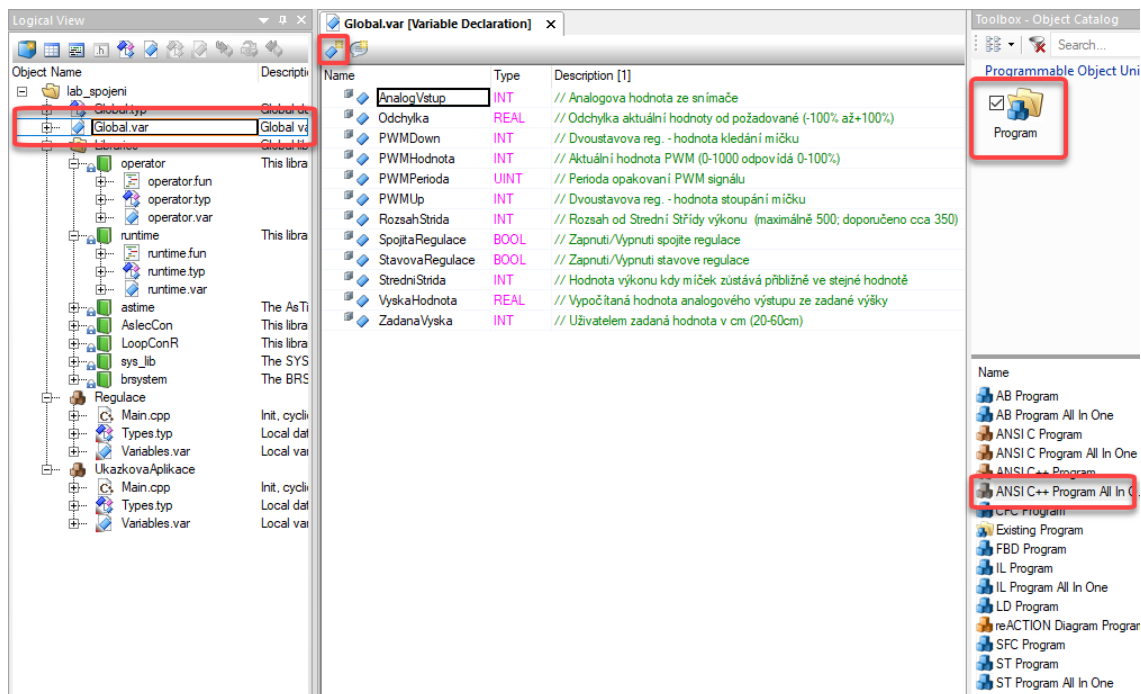
Vytvoření programu

V záložce **Logical View** je na pravé straně **Toolbox** ve kterém můžeme vybrat Program v jazyku který nám vyhovuje. Například jazyk ANSI C++. Zde se vytvoří nový program pro výsledný kód programu.

Pokud máme program vytvořený, můžeme ho uložit a tlačítkem **Build** zkompileovat a dále pomocí tlačítka **Transfer** přenést program do PLC.

Inicializace proměnných

V záložce **Logical View** klikneme na **Global.var** a otevře se nám okno s proměnnými. Při kliknutí na **Add Variable** se vytvoří proměnná, které můžeme přiřadit název, typ, popis a zda se jedná o konstantu.



Na obrázku níže můžeme vidět příklad vytvořených proměnných v ukázkové regulaci. Vyznačené proměnné jsou nezbytně nutné pro komunikaci se soustavou.

Name	Type	Description [1]
AnalogVstup	INT	// Analogova hodnota ze snimače
DvoustavovaRegulace	BOOL	// Zapnutí/Vypnutí stavove regulace
Odchylka	REAL	// Odchylka aktuální hodnoty od požadované (-100% až+100%)
PWMDown	INT	// Dvoustavova reg. - hodnota hledání míčku
PWMHodnota	INT	// Aktuální hodnota PWM (0-1000 odpovídá 0-100%)
PWMPodoba	UINT	// Perioda opakování PWM signálu
PWMUp	INT	// Dvoustavova reg. - hodnota stoupání míčku
RozsahStrida	INT	// Rozsah od Střední Stridy výkonu (maximálně 500; doporučeno cca 350)
SpojitaRegulace	BOOL	// Zapnutí/Vypnutí spojte regulace
StredniStrida	INT	// Hodnota výkonu kdy míček zůstává přibližně ve stejné hodnotě
VyskaHodnota	REAL	// Vypočítaná hodnota analogového výstupu ze zadané výšky
ZadanaVyska	INT	// Uživatelem zadaná hodnota v cm (20-60cm)

Nakonfigurování vstupů a výstupů


Pro komunikaci s ventilátorem a se snímačem je potřeba správně nakonfigurovat vstupy a výstupy.

V záložce **Physical View** klikneme na kartu **X1a** a zde podle zapojení k **AnalogInput01** přidáme do **Process Variable** naši vytvořenou proměnnou **AnalogVstup**.



V dalším kroku musíme nastavit vysokorychlostní výstup na PWM výstup. Proto na kartě **X3a** klikneme na **Properties** a opět podle zapojení vybereme v kolonce **Output control channel 09** možnost PWM output.

Následně můžeme přiřadit na kartě **X3a** k **PWMPeriod09** vytvořenou proměnnou **PWMPerioda** a k hodnotě **PWMOutput09** proměnnou **PWMHodnota**.

Karta X1a:

 AnalogInput01	::AnalogVstup	INT
---	---------------	-----

Karta X3a:

 PWMPeriod09	::PWMPerioda	UINT
 PWMOutput09	::PWMHodnota	INT

Tímto způsobem máme nakonfigurované zapojení a můžeme začít programovat.

11.1.2 Automation studio-úkoly k programování

Funkce Watch

V první řadě otevřeme sledovací funkci **Watch**. V otevřeném programu si pomůžeme zkratkou CTRL+W. Při kliknutí pravým tlačítkem vložíme proměnné pomocí **Insert Variable**.

Můžeme začít zkoušet celou soustavu tak, že budeme měnit **PWMHodnota** a budeme sledovat, jak působí na výšku míčku a jaké hodnoty nabývá **AnalogVstup** v krajních mezích.

Postupnou změnou **PWMHodnota** můžeme experimentálně zjistit hodnotu **StredniStrida** tak, že sledujeme při jaké hodnotě míček zůstává v jedné výšce.

Převod ZadanaVyska na hodnotu VyskaHodnota

Výstup ze snímače není lineární a z toho důvodu bylo potřeba vytvořit převodní charakteristiku. Pomocí měření a proložení bodů křivkou byla vytvořena rovnice, která může být implementována do programu. Kde y představuje proměnnou **VyskaHodnota** a x představuje proměnnou **ZadanaVyska**.

$$y = -0,0183x^3 + 4,2823x^2 - 339,79x + 10916$$

Úkol: Pohyb míčku pro názornost

Pro seznámení se s přípravkem vzduchové levitace vytvořte program, ve kterém se bude míček pohybovat z jedné polohy na druhou a vznikne názorná úloha pohybu míčku v trubici.

Tip: Pro prvotní odpich míčku z výchozí polohy je potřeba nastavit výkon ventilátoru na větší hodnotu než při pozdějším průběhu regulace.

Úkol: Dvoustavová regulace

Uživatel zadá požadovanou hodnotu výšky a pokud je aktuální hodnota polohy míčku nižší, nastav výkon ventilátoru na vyšší hodnotu. Pokud míček je nad požadovanou hodnotou, sniž výkon ventilátoru. Tímto je vytvořen kmitavý pohyb míčku kolem žádané hodnoty.

Experimentálně určete meze a jednotlivé hodnoty regulace.

Úkol: Spojitá regulace

Pokuste se vytvořit regulaci se spojitou změnou PWM signálu tak, aby došlo k ustálení hodnoty na požadované výšce. K tomu je dobré znát střední hodnotu střídý a rozpětí signálu PWM.

Experimentálně nastavte co možná nejlepší hodnoty pro regulaci tak, aby ustálení bylo přesné a proběhlo co možná v nejkratším čase.

- **Ukázková úloha**

Níže je část kódu s ukázkovou dvouhodnotovou regulací a se spojitou regulací. Ovládání regulace probíhá přes funkci **Watch**. Uživatel zadá hodnotu **ZadanaVyska** a přiřadí hodnotu **TRUE** k proměnné buď **DvoustavovaRegulace** nebo **SpojitaRegulace**, podle toho, kterou regulaci chce využít. Jedná se o program napsaný v ANSI C++ v prostředí Automation Studio.

```
void _INIT ProgramInit(void)           //Inicializace promennych
{
    SpojitaRegulace=0;
    DvoustavovaRegulace=0;
    PWMHodnota =0;                     //hodnota od 0 az 1000 ->0% az 100%
    AnalogVstup=0;                     //Mereni vzdalenosti- hodnota z vystupu
                                        //snimace je nelinearni křivka

    Odchylka=0;
    PWMPerioda = 1000;                 //cca 1Khz
    ZadanaVyska = 40;                  //Nastaveni Zadane vysky v cm
    PWMUp=630;                         //hodnota pro rust micku
    PWMDown=550;                       //hodnota pro pokles micku

    StredniStrida=560;                  //Stredni hodnota stridy PWM-micek je v jedne vysce
    RozsahStrida=320;                  //Rozdil maximalni hodnoty a StredniStrida
}

void _CYCLIC ProgramCyclic(void)
{
    //Vypocet: uzivatel zada cm, vysledek je v units
    VyskaHodnota = (-0.0183*ZadanaVyska*ZadanaVyska*ZadanaVyska) +
    (4.2823*ZadanaVyska*ZadanaVyska) - (339.79*ZadanaVyska) + 10916 ;
    if(DvoustavovaRegulace)           //Podminka zapnuti dvoustavove regulace
    {
        if(AnalogVstup<VyskaHodnota)
            //kdyz je vyse nez pozadovana hodnota, sniž PWM
            PWMHodnota = PWMDown;
        else if((8000>AnalogVstup)&& (AnalogVstup>VyskaHodnota))
            //kdyz je nize nez pozadovana hodnota, zvyš PWM
            PWMHodnota = PWMUp;

        else if (AnalogVstup> 8000)
            //Podminka pro odpich míčku z vychozi polohy
            PWMHodnota =1000;
    }
    else if(SpojitaRegulace)           //podminka zapnuti Spojite regulace
    {
        if(AnalogVstup> 8600) // Podminka pro odpich míčku z vychozi polohy
            PWMHodnota =950;

        else
            // vypocet odchylky, v % maxHodnota=9200
            //minHodnota=2200 // promenne AnalogVstup
            Odchylka = ((VyskaHodnota-AnalogVstup)/(9200-2200))*100;
            //vypocet stridy vykonu ventilátoru
            //Linearni interpolace pro vypocet-cim vetsi
            //odchylka, tim vetsi rozdil vykonu od stredni
            //hodnoty
            PWMHodnota = (StredniStrida+RozsahStrida)+(Odchylka +
            100)*(((StredniStrida-RozsahStrida)-(StredniStrida+RozsahStrida))/(200));
    }
    else                               //podminka vypnuti soustavy
        PWMHodnota=0;
}
```